

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 050 667 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

08.11.2000 Patentblatt 2000/45

(51) Int Cl. 7: F01K 23/10

(21) Anmeldenummer: 99810389.9

(22) Anmeldetag: 05.05.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE

Benannte Erstreckungsstaaten:

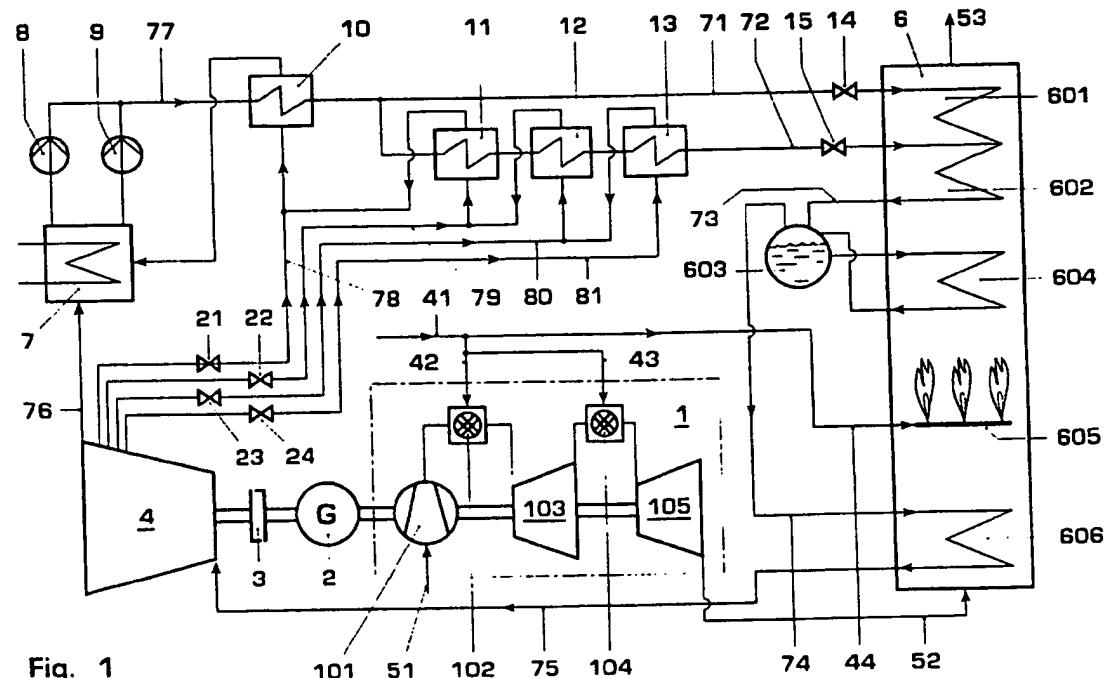
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: Asea Brown Boveri AG  
5401 Baden (CH)(72) Erfinder: Bachmann, Rolf  
5312 Döttingen (CH)

## (54) Kombianlage mit Zusatzfeuerung

(57) Der Abhitzedampferzeuger (6) einer Kombianlage wird zur Leistungsteigerung mit einer Zusatzfeuerung (605) versehen. Aufgrund des hohen Abgastemperatur moderner Gasturbinen wird die Zusatzfeuerung nicht unmittelbar am Eintritt des Gasturbinen-Abgases in den Abhitzedampferzeuger angeordnet, sondern stromab des Frischdampf-Überhitzers (606). Im Überhitzezettel des Dampferzeugers kühlte das Heissgas bereits erheblich ab, bevor ihm durch die Zusatzfeuerung weitere Wärme zugeführt wird. Die Zusatzfeuerung

wirkt unmittelbar auf den Verdampfer (604), und erhöht die Dampfproduktion und somit die Leistung der Dampfturbine (4). Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Zusatzfeuerung im wesentlichen zwischen Verdampfer und Frischdampf-Überhitzer werden Temperaturspitzen des Heissgases vermieden. Weiterhin wird der Überhitzer nicht mit der Strahlungswärme der Zusatzfeuerung beaufschlagt. Beide Effekte zusammen ermöglichen, den Abhitzedampferzeuger trotz der Zusatzfeuerung in einer kostengünstigen Bauart auszuführen.



EP 1 050 667 A1

**Beschreibung****Technisches Gebiet**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Kombianlage, bestehend aus wenigstens einer Gasturbine, wenigstens einer Dampfturbine, und wenigstens einem Abhitzedampferzeuger. Es wird weiterhin ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Anlage beschrieben.

**Stand der Technik**

**[0002]** Im Sinne einer effizienten Energieumsetzung in Kraftwerken werden diese häufig als Kombianlagen ausgeführt. Dabei wird in einem Abhitzekessel das Abgas einer Gasturbine, welches unmittelbar nach dem Austritt aus der Turbine noch eine sehr hohe Temperatur hat, dazu benutzt, hochgespannten überhitzten Dampf für den Betrieb einer Dampfturbine zu erzeugen. Mit Hilfe ausgeklügelter Schaltungen des Wasser-Dampf-Kreislaufes wird die Abgaswärme der Gasturbine zu einem erheblichen Teil im nachgeschalteten Dampfturbinenprozess genutzt. Derartig optimierte Anlagen, arbeiten beispielsweise mit mehrfacher Überhitzung des Dampfes bei unterschiedlichen Drücken im Kessel. Sie sind damit in der Lage, anfallende Wärme auf nahezu jedem Temperaturniveau oberhalb der Umgebungstemperatur auszunutzen. Im Gegenzug sind solcherart optimierte Anlagen sehr komplex, und damit auch teuer.

**[0003]** Im Gegenzug werden die - mit hohem Kapitaleinsatz optimierten - Anlagen oft nicht voll ausgenutzt. Liberalisierte Strommärkte nämlich fordern nicht nur eine effiziente Energieumsetzung, sondern auch eine hohe Flexibilität bei der Stromerzeugung. Obschon die Margen bei der Erzeugung von Grundlast aufgrund des Wettbewerbs gering sind, kann für die Abdeckung von Lastspitzen oft ein vielfach höherer Preis erzielt werden. Ein grosser Anteil des erwirtschafteten Gewinns kann mit einigen wenigen Prozent der erzeugten elektrischen Energie, oder in einem Bruchteil der Betriebsdauer einer Kraftwerksanlage, erwirtschaftet werden.

**[0004]** Daher ist es für in liberalisierten Strommärkten engagierte privatwirtschaftlich organisierte Versorger fast zwingend, Reservekapazitäten vorzuhalten. In begrenztem Umfang können zu Deckung von Spitzenlast Leistungsreserven aus Fallwasserkraftwerken mobilisiert werden. Techniken wie Luftspeicherturbinen muss bis heute und nach allem technischen Ermessen zumindest auf mittlere Sicht ein Exotenstatus zuerkannt werden. Die Errichtung von Spitzenlast-Gasturbinenkraftwerken ist wirtschaftlich unter dem Strich meist weniger attraktiv.

**[0005]** Daher werden beispielsweise Grundlastanlagen nur mit 90 oder 95% ihrer maximalen Leistung betrieben und somit Leistungsreserven vorgehalten. Dabei handelt es sich häufig Anlagen, die, wie eingangs beschrieben, mit hohem Kapitaleinsatz auf beste Wirkungsgrade getrimmt sind. Bei einer solchen Betriebs-

art subsummieren sich zwei kontraproduktive Effekte: Einerseits wird ein hoher Einsatz an Kapital und Ressourcen über grosse Zeiträume nicht vollständig genutzt. Andererseits läuft eine so betriebene Anlage nicht auf ihrem Auslegungsbetriebspunkt, und somit mit einem Wirkungsgrad, der kleiner als der eigentlich erzielbare - und teuer erkaufte! - ist.

**[0006]** Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Gasturbine einer Kombianlage temporär mit erhöhter Leistung zu betreiben. Jedoch hat eine kurzzeitige Erhöhung der Heissgastemperaturen beispielsweise einen nachhaltigen negativen Effekt auf die Lebdauer der Maschinenkomponenten. Auch die Leistungserhöhung durch Einbringen von Wasser oder Dampf in die Brennkammer oder den Heissgaspfad der Gasturbine ist nicht unproblematisch. Zudem stossen diese Massnahmen recht bald an ihre quantitativen Grenzen.

**[0007]** Seit langem ist weiterhin bekannt, in Abhitzedampfkesseln eine Zusatzfeuerung zu implementieren. Dabei wird dem Gasturbinenabgas, das noch viel Sauerstoff enthält, Brennstoff zugesetzt und dieser verbrannt. Diese Methode wurde bislang insbesondere benutzt, um einerseits den Frischdampf über die Temperatur des Gasturbinenabgases hinaus zu überhitzen.

**[0008]** Bei der Stromerzeugung ist ein grosser Nachteil dieser Technik, dass die zusätzlich eingebrachte Brennstoffmenge nur mit dem Dampfturbinenwirkungsgrad umgesetzt wird, anstatt mit dem deutlich höheren Kombi-Wirkungsgrad. Aus betriebstechnischen Gründen ist die Zusatzfeuerung dennoch interessant, beispielsweise, wenn in dem Abhitzedampferzeuger Prozessdampf erzeugt werden soll, und die Dampferzeugung von der Stromerzeugung der Gasturbine zu entkoppeln ist.

**[0009]** Eine Zusatzfeuerung kann weiterhin auch interessant sein, um die Abgabe an elektrischer Leistung in Zeiten des Spitzenbedarfs zu erhöhen. Wenn hohe Preise für schnell bereitzustellende Spitzenleistung zu erzielen sind, sind erhöhte Stromerzeugungskosten aufgrund des sinkenden Wirkungsgrades akzeptabel, insbesondere, wenn die Bereitstellung der Spitzenleistung mit einem geringen Kapitaleinsatz erfolgt.

**[0010]** Die Zusatzfeuerung stösst jedoch dann an Grenzen, wenn sich das Abgas der Gasturbine bereits auf einem Temperaturniveau befindet, das nur wenig unterhalb der zulässigen Maximaltemperatur des Kessels liegt. Ein solcher Fall ist beispielsweise dann gegeben, wenn Gasturbinen der Typen ABB GT24/GT26 im Kombi-Prozess eingesetzt werden. Hier liegt die Abgas temperatur bereits deutlich oberhalb von 600°C. Eine grössere Temperaturerhöhung durch Zusatzfeuerung erfordert eine Neukonstruktion des Kessels unter Verwendung teurer und aufwendig zu verarbeitender Hochtemperaturwerkstoffe.

**[0011]** Zusammenfassend ist also festzustellen, dass es vorteilhaft ist, eine Kombianlage so zu bauen, dass ein akzeptables Verhältnis von apparativem Aufwand und Wirkungsgrad resultiert. Hier bietet eine Anlage, bestehend aus Gasturbinen mit Zwischenerhitzung des

teilentspannten Mediums, wie sie in EP 0 620 362 B1 oder US 5,577378 beschrieben sind, und einer Dampfturbinenanlage, gute Voraussetzungen. Bei Einsatz einer Dampfturbine ohne Zwischenüberhitzung wird zwar der Wirkungsgrad gesenkt, andererseits verlangt der dann einzusetzende Eindruckkessel wesentlich geringere Investitionskosten. Weiterhin ist von Vorteil, grosse Leistungsreserven über den Nenn-Vollastbetrieb hin aus bereitzuhalten. Eine solche Anlage könnte im Grundlastbetrieb auf Nenn-Vollast, mit ihrem besten Wirkungsgrad betrieben werden, wodurch der gegenüber einer ausgereizten Kombi-Anlage nominell reduzierte Wirkungsgrad zumindest teilweise kompensiert wird.

[0011] Es böte sich an, den Spitzenlastbetrieb zu realisieren, indem durch eine Zusatzfeuerung eine Leistungserhöhung der Dampfturbine realisiert wird. Wie oben dargelegt, kann bei einem solchen Betrieb der schlechtere Wirkungsgrad, mit dem der zusätzliche Brennstoff umgesetzt wird, akzeptiert werden. Für den als Spitzenlast erzeugten Strom kann ein sehr hoher Preis am Markt erzielt werden, so, dass ein höherer spezifischer Brennstoffverbrauch wirtschaftlich akzeptabel ist. Eine nach dem Stand der Technik übliche Zusatzfeuerung für den Spitzenlastbetrieb bringt jedoch aus den oben beschriebenen Gründen mit modernsten Gasturbinen kaum eine grosse Leistungssteigerung, und ist auch bei Gasturbinen mit eher moderaten Abgastemperaturen recht früh durch die maximal zulässige Temperatur im Abhitzedampferzeuger beschränkt.

#### Darstellung der Erfindung

[0012] Hier greift die Erfindung. Bei einer Kombianlage der eingangs beschriebenen Art ist eine Möglichkeit zu schaffen, mittels einer Zusatzfeuerung im Kessel eine möglichst grosse Zusatzleistung aktivieren zu können. Dabei ist eine aufwendige Neukonstruktion des Kessels unter allen Umständen zu vermeiden.

[0013] Erfindungsgemäß wird dies erreicht, indem die Zusatzfeuerung in Strömungsrichtung des entspannten Arbeitsmediums der Gasturbine stromab des Frischdampf-Überhitzers des Abhitzedampferzeugers angeordnet ist.

[0014] Kern der Erfindung ist also, in einer Kombianlage das Abgas der Gasturbine zunächst im Überhitzer von der ursprünglich hohen Temperatur abzukühlen, um beim Einsatz der Zusatzfeuerung einen grösseren Abstand bis zur maximal zulässigen Temperatur eines Abhitzekessels zu haben, und somit dem Wasser-Dampf-Kreislauf der Dampfturbine zusätzliche Wärme zuzuführen und die Leistungsabgabe der Dampfturbine zu erhöhen.

[0015] Erfindungsgemäß wird die Zusatzfeuerung also nicht am Eintritt des Abgases in den Kessel angeordnet, sondern stromab mindestens eines Überhitzers. An dieser Stelle ist das Abgas der Gasturbine bei zweckmässiger Auslegung des Kessels bereits erheb-

lich abgekühlt, maximal bis zur Siedetemperatur des Speisewassers. Die Temperaturdifferenz, um die das Abgas im Überhitzer abgekühlt ist, kann nunmehr zusätzlich gefeuert werden, ohne den Abhitzekessel für höhere Temperaturen auslegen zu müssen.

[0016] Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist - neben der grösseren zuzufeuernenden Leistung - dass die Zusatzfeuerung auf die Verdampferberohrung wirkt anstatt auf einen Überhitzer. Dadurch werden die Oberflächen des Überhitzers nicht mit der Strahlungswärme der Zusatzfeuerung und gleichzeitig den hohen Heissgastemperaturen beaufschlagt.

[0017] Der Abhitzedampferzeuger einer erfindungsgemässen Kombianlage kann als herkömmlicher Trommelkessel oder als Einrohrkessel ausgeführt werden. Auch wenn bei letzterer Bauart keine scharfe Trennlinie zwischen dem Überhitzerteil und dem Verdampfer des Abhitzedampferzeugers mehr besteht, wird dem Fachmann ohne weiteres klar sein, wo die Zusatzfeuerung gemäss den Ansprüchen anzordnen ist, eben in Strömungsrichtung des entspannten Arbeitsmediums der Gasturbine stromab des Frischdampf-Überhitzers, um einerseits bereits eine Abkühlung des Gasturbinen-Abgases erreicht zu haben, andererseits aber auch, damit die Zusatzfeuerung auf Wärmetauscherflächen wirkt, aus denen die Wärme - insbesondere auch die Strahlungswärme der Zusatzfeuerung - in allen Betriebszuständen durch eine Flüssigkeit abgeführt wird.

[0018] Zusammenfassend ist also festzustellen, dass ein grosser Vorteil der erfindungsgemässen Ausführung einer Kombianlage mit Zusatzfeuerung neben der Vermeidung allfälliger extremer Temperaturspitzen der ist, dass keine Überhitzerflächen mit Strahlungswärme beaufschlagt werden, was letztlich eine einfache und kostengünstige Bauart des Überhitzers, beispielsweise als Rippen-Rohrwärmetauscher, ermöglicht.

[0019] Eine bevorzugte Betriebsart für eine derartige Kombianlage ist die folgende: Im nominalen Vollastbetrieb arbeitet die Gasturbine mit Vollast. Das Abgas der Gasturbine durchströmt im Abhitzedampferzeuger nacheinander einen Überhitzer, einen Verdampfer und einen Economizer. Die Dampfmenge ergibt sich in diesem Betriebszustand so, dass die Temperatur des Abgases am Austritt aus dem Verdampfer noch wenig oberhalb der Siedetemperatur des Speisewassers liegt. Im Falle, es werde Spitzenlast angefordert, wird nunmehr die Zusatzfeuerung eingeschaltet, wodurch die Dampfproduktion ansteigt. Die thermische Leistung der Zusatzfeuerung kann maximal erhöht werden, bis die Temperatur des Gasturbinen-Abgases am Austritt aus dem Überhitzer nur noch unwesentlich oberhalb der Siedetemperatur des Speisewassers liegt, oder die für den Kessel maximal zulässige Temperatur der Zusatzfeuerung erreicht ist.

[0020] Wichtig zur effizienten Durchführung des Verfahrens ist, dass die Wärmeaustauschflächen im Kessel für den erhöhten Wasser/Dampf-Massenstrom hinreichend gross dimensioniert sind. Es werden jedoch kei-

ne höheren Anforderungen an die Hochtemperatur-Einsatzfähigkeit der Kesselkomponenten gestellt, als bei einer Kombianlage ohne Zusatzfeuerung.

[0021] Die Ausführung der erfindungsgemässen Kombianlage ohne Zwischenüberhitzung ist eine bevorzugte Variante in Fällen, in denen ein möglichst grosses Potential zur Bereitstellung von Spitzenlast bei geringen Investitionskosten genutzt werden soll. Die konventionelle Anordnung eines Zwischenüberhitzers an der selben Position im Abhitzedampferzeuger wie der Frischdampf-Zwischenüberhitzer ist allenfalls nur dann sinnvoll, wenn das kalorische Potential des Gasturbinen-Abgases hinreichend hoch ist, um zwischen der Eintrittstemperatur des Heissgases in den Kessel und der Siedetemperatur des Speisewassers genug Energie bereitzustellen, um auch eine durch die Zusatzfeuerung stark erhöhte Dampfmenge auf die Frischdampftemperatur zu überhitzen und diese Dampfmenge gleichzeitig zwischenzüberhitzten. Hingegen kann es sich als zweckmässig erweisen - in Abhängigkeit von den Enthalpieströmen im Abhitzedampferzeuger - einen Zwischenüberhitzer in Richtung der Heissgasströmung stromab der Zusatzfeuerung anzutragen. Bei einer solchen Anordnung wirkt die Zusatzfeuerung auch auf den Zwischenüberhitzer, weshalb in der Zusatzfeuerung eine grössere Leistung zugefeuert werden kann. Dabei ist es weiterhin von Vorteil, die Berührung des Zwischenüberhitzers an der gleichen Position im Kessel anzutragen wie die Berührung des Verdampfers, und dabei Verdampferrohre zwischen der Zusatzfeuerung und der Berührung des Zwischenüberhitzers anzutragen. Auf diese Weise wird der Überhitzer durch den nass betriebenen Verdampfer von der Wärmestrahlung der Zusatzfeuerung abgeschirmt, und kann somit in einer wesentlich einfacheren Bauweise ausgeführt werden.

[0022] Zweckmässig ist es auch, die Speisewasserleitung zu splitten. Dabei wird ein Teil des Speisewassers über eine erste Leitung unmittelbar zu einem Economizer geführt und an einer Stelle, die innerhalb des Abhitzedampferzeugers am weitesten von der Gasturbine entfernt ist, das heisst, in bezug auf die Strömungsrichtung des Gasturbinen-Abgases am weitesten stromab liegt, in den Economizer oder den Verdampfer eingebracht. Ein anderer Teil des Speisewassers wird über einen oder mehrere Speisewasservorwärmer geleitet, und vorwärm dem ersten Teilstrom an einer weiter stromauf des Abgasweges gelegenen Stelle des Economizers, gegebenenfalls auch unmittelbar in der Kesseltrommel oder der Verdampferberührung, zugeschmolzt. Gerade beim Betrieb mit einem erhöhten Speisewasser/Frischdampfmassenstrom sind diese Speisewasservorwärmer in Verbindung mit der parallelen Führung zwclor Speisewasser-Teilstrome vorteilhaft. Der über die Speisewasservorwärmer geführte Teilstrom wird im Verhältnis zu dem ersten Teilstrom so bemessen und vorgewärmt, dass sich der Gesamtmassenstrom beim Austritt aus dem Economizer nahezu auf der Siedetemperatur befindet. Die Schaltungsvariante, bei der

ein erster Teilstrom unmittelbar in den Economizer geführt wird, ist gegenüber der Vorwärmung des Gesamtmasstenstroms zu bevorzugen, da die Temperatur des kältesten in den Economizer einströmenden Wassers die niedrigste Temperatur vorgibt, bis zu welcher das kalorische Potential des Gasturbinenabgases genutzt werden kann.

[0023] Die Speisewasservorwärmer werden mit Dampf betrieben, der an geeigneter Stelle der Dampfturbine entnommen wird. Dieser zunächst störende Verlust an Arbeitsfluid der Dampfturbine kann beim Betrieb mit einem erhöhten Dampfmassenstrom sogar von Vorteil sein. Dadurch, dass gerade im Betrieb mit erhöhtem Fluidmassenstrom teilentspannter Dampf entnommen und dessen Enthalpie an anderer Stelle dem Kreislauf zugeführt wird, werden die letzten Stufen der Dampfturbine entlastet. Die Abdampffluten können daher kleiner gebaut und besser für den Normalbetrieb, also Kombi-Betrieb ohne Zusatzfeuerung und mit geringerer Dampfmenge, ausgelegt werden. Je nach Anlagenauslegung kann unter Umständen auf teure zusätzliche Fluten im Niederdruckteil der Dampfturbine verzichtet werden.

[0024] Jeder Zweig der Speisewasserleitung, wird zweckmässig mit einem Absperr- und Regelorgan versehen. Beim Betrieb der Kombianlage mit Öl als Brennstoff kann das Absperrorgan in dem Zweig, der unmittelbar zum Economizer führt, geschlossen werden, und ein weiterer Speisewasser-Teilstrom wird zweckmässig bis über die Taupunktstemperatur von Schwefelsäure erwärmt, um Korrosionschäden an der Kesselberührung zu vermeiden.

[0025] Mit Vorteil werden in einer erfindungsgemässen Kombianlage Kondensat- und Speisewasserpumpe zusammengefasst, und die für den Spitzenlastbetrieb notwendige Pumpenleistung auf zwei identische parallelgeschaltete Pumpen aufgeteilt. Im Nominalbetrieb genügt der Betrieb einer einzigen Pumpe; die zweite Pumpe muss nur im Spitzenlastbetrieb die zusätzliche Speisewassermenge fördern. Dies hebt die Verfügbarkeit, da die Anlage beim Ausfall einer Pumpe immer noch mit Vollast ohne Zusatzfeuerung betrieben werden kann.

[0026] Es ist oben bereits angedeutet, dass die starke Erhöhung der Dampfproduktion zu Problemen mit dem Schluckvermögen der Dampfturbine führen kann. In diesem Zusammenhang kann es sich als zweckmässig erweisen, weitere Anzapfstellen im Wasser-Dampf-Kreislauf vorzusehen, von denen Dampf in das gespannte Arbeitsmedium der Gasturbine geführt wird. Dieser Dampf kann einerseits in die Brennkammern eingebracht werden, wo dann eine höhere Brennstoffmenge zugeführt werden kann, andererseits kann der Dampf auch zur Kühlung von thermisch hochbelasteten Komponenten der Gasturbine eingesetzt werden.

[0027] Wie bereits einleitend angemerkt, ist die erfindungsgemäss Anordnung der Zusatzfeuerung zwischen Überhitzer und Verdampfer gerade dann von Vor-

teil, wenn die Abgastemperatur der Gasturbine nur noch wenig unterhalb der maximal zulässigen Kesseltemperatur liegt, was insbesondere dann der Fall ist, wenn Gasturbinen mit Nacherhitzung des teilentspannten Arbeitsmediums eingesetzt werden. Derartige Turbinen sind aus der EP 0 620 362 B1 oder der US 5,577,378 und US 5,454,220 bekannt, welche Schriften einen integralen Bestandteil der vorliegenden Beschreibung darstellen.

[0028] Die Investitionskosten werden weiterhin gesenkt, wenn die Anlage in der einwülligen Bauart errichtet wird, bei der eine Gasturbine und eine Dampfturbine auf eine gemeinsamen Generator wirken. Andererseits bietet die erfindungsgemäße Ausführung der Kombianlage auch dann betriebstechnische Vorteile, wenn mehrere Gasturbinen über jeweils einen Abhitzedampferzeuger Dampf für eine Dampfturbine liefern. Hier kann beim Ausfall einer Gasturbine die Zusatzfeuerung in den Dampferzeugern der noch im Betrieb befindlichen Gaslurbinen den Leistungsverlust zumindest teilweise kompensieren.

[0029] Neben den oben diskutierten Vorteilen für die Spitzenlastverfügbarkeit bietet die erfindungsgemäße Ausführung eines Abhitzedampferzeugers mit Zusatzfeuerung gegenüber dem Stand der Technik auch weitere Vorteile für den Betrieb und die Konstruktion des Kessels und der Dampfturbine. Da der Überhitzer in Richtung der Abgasströmung vor der Zusatzfeuerung angeordnet ist, ist der Überhitzer wie bereits erwähnt keinen wechselnden Einflüssen der Wärmestrahlung der Zusatzfeuerung ausgesetzt, und kann daher vergleichsweise preiswert als Rippenrohrwärmetauscher ausgeführt werden. Zudem variieren die Frischdampfdaten der Dampfturbine in wesentlich geringerem Ausmaße mit dem Betrieb der Zusatzfeuerung, als wenn diese auf den Frischdampfüberhitzer wirken würde.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0030] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele erläutert. Fig. 1 zeigt eine bevorzugte Ausführung einer erfindungsgemäßen Kombianlage, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist. Fig. 2 zeigt eine Weiterbildung der in Fig. 1 dargestellten Kombianlage, bei der Anzapfdampf aus der Dampfturbine in die Brennkammern der Gasturbine eingespritzt wird. Fig. 3 zeigt eine weitere Schaltungsvariante mit einer Dampfeinspritzung in die Gasturbine, bei der die Dampfentnahme aus dem Wasser/Dampfkreislauf sehr flexibel an das Schluckvermögen verschiedener Komponenten im Wasser/Dampf-Kreislauf anpassbar gestaltet ist. Die Figuren 4 und 5 zeigen schliesslich zwei Varianten mit cinner Zwischenüberhitzung von teilentspanntem Dampf.

[0031] Die Strömungsrichtung aller beteiligten Medien, sofern erfindungsrelevant, ist durch Pfeile gekennzeichnet. Weiterhin erheben die Ausführungsbeispiele keinen Anspruch darauf, vollständig zu sein, oder eine

Kombianlage in allen Details darzustellen. Hingegen sind alle Komponenten und Funktionsgruppen dargestellt, die zum Verständnis der Erfindung notwendig sind.

5

#### Weg zur Ausführung der Erfindung

[0032] Fig. 1 zeigt eine erstes Beispiel für die erfindungsgemäße Ausführung einer Kombianlage. Eine Gasturbine 1 ist mit einem Generator 2 verbunden, und treibt diesen an. Der Generator 2 ist weiterhin über eine selbsttätig wirkende Kupplung 3 mit einer Dampfturbine 4 verbunden. Die Gasturbine saugt eine Frischluftmenge 51 an, die im Verdichter 101 auf einen Arbeitsdruck komprimiert wird. In einer ersten Brennkammer 102 wird der verdichtete Luft eine stark unterstöchiometrische erste Brennstoffmenge 42 zugeführt, und verbrannt. In einer ersten Turbine 103 wird das hochgespannte Arbeitsmedium teilweise entspannt. In einer zweiten Brennkammer 104 wird das Arbeitsmedium durch die Verbrennung einer weiteren Brennstoffmenge 43 nachgeheizt, und in einer Turbine 105 näherungsweise auf Umgebungsdruck entspannt. Das entspannte Arbeitsmedium 52 befindet sich immer noch auf einer hohen Temperatur von beispielsweise 600°C, die ausreicht, eine Dampfmenge 74, 75 hinreichend stark zu überhitzen; außerdem findet sich im Abgas der Gasturbine immer noch ein hoher Sauerstoffanteil. Das entspannte Arbeitsmedium 52 wird durch einen Abhitzedampferzeuger 6 geleitet, wobei Wärme an wenigstens eine einströmende Speisewassermenge 71,72 abgegeben wird, welche Speisewassermenge im Abhitzedampferzeuger verdampft und überheizt wird. Der so erzeugte überheizte Dampf 75 wird in der Dampfturbine 4 entspannt. Entspannter Dampf 76 wird im Kondensator 7 verflüssigt und durch die Kondensat- und Speisepumpen 8 und 9 wieder auf den Frischdampfdruck gebracht. Das Speisewasser 77 wird zweckmässig über einen ersten Speisewasservorwärmer 10 geführt, wo es mittels einer der Dampfturbine entnommenen Dampfmenge 78 beispielsweise auf 60°C vorgewärmt wird. Die Temperatur im Speisewasservorwärmer wird geregelt, indem das Regelorgan 21 die Anzapfdampfmenge 78 steuert. Durch diese Vorwärmung wird beispielsweise bei Betrieb der Kombianlage mit Erdgas als Brennstoff der Niederschlag von Feuchtigkeit in der Kesselberührung in einem ersten Teil des Economizers 601 verhindert, wodurch langfristige Korrosionschäden vermieden werden.

[0033] An der als Beispiel dargestellten Kombianlage ist insbesondere die Bauart der Gasturbine als Gasturbine mit sequentieller Verbrennung nicht erfindungsrelevant, noch die einwüllige Anordnung, wobei Dampfturbine und Gasturbine auf einen gemeinsamen Generator arbeiten. Diese Merkmale entsprechen jedoch modernster Technik und sind im Zusammenhang mit der Erfindung mit Vorteil zu implementieren. So gewährleistet die dargestellte Gasturbinenbauart schon von sich

aus einen hohen Wirkungsgrad, und ist aufgrund der hohen Abgastemperaturen besonders gut für den Einsatz in einer Kombianlage geeignet. Die einwellige Bauart ermöglicht, eine Kombianlage auf engstem Raum zu erstellen; in Verbindung damit, dass nur ein Generator und nur ein Generator-Fundament notwendig sind, wird die Anlagenleistung mit geringen Investitionskosten bereitgestellt. Die Erfindung kann jedoch ohne weiteres auch dann realisiert werden, wenn die Dampfturbine und die Gasturbine jeweils auf einen Generator wirken. Ebenso könnte auch der von mehreren Gasturbinen über Abhitzedampferzeuger erzeugte Dampf auf eine Dampfturbine wirken.

[0034] In einem ersten Betriebsfall strömt eine Speisewassermenge 71 aus dem Speisewasservorwärmer 10 in einen ersten Teil 601 und von diesem in einen zweiten Teil 602 des Economizers. Am Austritt aus dem zweiten Teil des Economizer 602 liegt Wasser 73 idealerweise auf Siedetemperatur oder nur wenig darunter vor, und wird in die Trommel 603 geführt. Siedewasser strömt aus der Trommel 603 in den Verdampfer 604, nimmt dort weitere Wärme auf, und strömt wieder in die Trommel 603 zurück. Dort wird das Wasser zu dem Teil, zu dem die aufgenommene Wärme für die Verdampfung nicht ausreicht; abgeschieden; die abgeschiedene Flüssigkeit wird wieder durch den Verdampfer 604 geleitet. Sattdampf 74 strömt aus der Trommel 603 in den Frischdampf-Überhitzer 606, und strömt schliesslich als überhitzter Frischdampf 75, idealerweise nahezu auf der Temperatur des entspannten Arbeitsmediums 52 der Gasturbine, in die Dampfturbine 4 ein. Das entspannte Arbeitsmedium der Gasturbine durchströmt die genannten Komponenten des Abhitzedampferzeugers in umgekehrter Reihenfolge, und kühlst sich dabei stetig ab.

[0035] Vorteilhaft für die Funktion der Kombianlage ist weiterhin, wenn das aus dem Economizer austretende Wasser eine Temperatur nahe der Siedetemperatur aufweist. Um dies zu gewährleisten, ist der Economizer mit einem zweiten Zuströmanschluss versehen, über den zwischen dem ersten und dem zweiten Teil des Economizers eine weitere vorgewärmte Speisewassermenge 72 in den Economizer eingebracht wird. Im Vergleich dazu ist eine stärkere Vorwärmung der Speisewassermenge 71 im Speisewasservorwärmer 10 unwirtschaftlich, da die Temperatur des Wassers am Eintritt in den ersten Teil 601 des Economizers das untere Temperaturniveau vorgibt, bis auf welches dem Abgas 53 Wärme entzogen werden kann. Die Speisewasserleitung weist daher stromab des Speisewasservorwärmers 10 eine Verzweigung auf, an der die zweite Speisewassermenge 72 abgezweigt und über wenigstens einen weiteren - im vorliegenden Beispiel drei - Speisewasservorwärmer 11, 12, 13 geführt wird. Zur Erwärmung des Speisewassers werden der Dampfturbine die Anzapfdampfmassenströme 79, 80 und 81 entnommen, die über die Absperr- und Regelorgane 22, 23 und 24 eingestellt werden, und die somit die Temperatur des vorgewärmten Speisewassers 72 bestimmen. Über die-

se Temperatur sowie die Absperr- und Regelorgane 14 und 15 kann das Wasser 73 nach dem Economizer auf den Siedepunkt eingestellt werden.

[0036] In einem weiteren Betriebsfall wird der Zusatzfeuerung 605 ein Brennstoff 44 zugeführt und verbrannt, was dem Prozess weitere Wärme zufügt. Aufgrund der Anordnung der Zusatzfeuerung im Abhitzedampferzeuger wirkt die Zusatzfeuerung unmittelbar auf die Dampfproduktion ein. Es wird also die Dampfproduktion und damit der Wasser/Dampfmassenstrom des Wasser/Dampfkreislaufs durch den Betrieb der Zusatzfeuerung gesteigert. Der Wasser/Dampfmassenstrom kann so lange gesteigert werden, bis das Abgas der Gasturbine bereits nach dem Durchströmen des Überhitzers die Siedetemperatur des Speisewassers erreicht.

[0037] Bei einer Steigerung des Frischdampfmassenstroms ist weiterhin die Temperatur und/oder der Massenstrom der vorgewärmten Speisewassermenge 72 zu erhöhen, damit das Wasser 73 beim Austritt aus dem zweiten Teil 602 des Economizers näherungsweise auf dem Siedepunkt ist. Dadurch werden auch die Anzapfdampfmassenströme 79, 80, 81 gesteigert. Dieser Dampf steht zwar der Dampfturbine nicht mehr zum Arbeitsumsatz in den letzten Stufen zur Verfügung, was aber auch den Vorteil hat, dass gerade bei einer Steigerung des Dampfmassenstroms die Niederdruckstufen der Dampfturbine entlastet werden. Damit entfällt die Notwendigkeit, die Niederdruckstufen und die Abdampfflüten für den vollen Dampfmassenstrom zu dimensionieren, was erhebliche Investitionskosten spart.

[0038] Ein weiterer Betriebsfall ergibt sich, wenn die Kombianlage optional mit zwei Brennstoffen, beispielsweise mit Gas und Öl, betrieben werden kann. Wenn ein erster Brennstoff 41, der zugeführt wird, Gas ist, so wird zweckmässig das Speisewasser auf einer Temperatur in den Economizer eingebracht, dass der im Abgas enthaltene Wasserdampf gerade nicht an den Rohren kondensiert. Die erste Speisewassermenge 71 wird dann beispielsweise mit den oben zitierten 60°C in den ersten Teil des Economizers eingebracht. Wenn als Brennstoff 41 nunmehr Öl zugeführt wird, muss die Temperatur im Economizer angehoben werden, um den Niederschlag organischer Komponenten oder von Schwefelsäure und damit Korrosionsschäden an der Kesselberührung zu vermeiden. Entsprechend der höheren Speisewassertemperatur ist nunmehr auch eine kleinere Wärmetauscherfläche im Economizer notwendig. Daher wird bei Ölfeuerung das Absperr- und Regelorgan 14 geschlossen, und die gesamte Speisewassermenge fliesst über die Vorwärmer 11, 12 und 13, die die Speisewassermenge 72 nunmehr auf eine Temperatur von beispielsweise 130°C vorwärmen. Durch den Einsatz der Vorwärmer 11, 12 und 13 kann der Speisewasservorwärmer 10 mit relativ stark entspanntem Dampf 78 betrieben werden, und muss nicht übermäßig gross dimensioniert werden. Die Speisewasservorwärmer 11, 12 und 13 können dafür bei Bedarf ein grösseres treibendes Temperaturgefälle für die Speisewasservorwär-

mung nutzen.

[0039] Im Übrigen muss gerade bei sehr stark vorgewärmtem Speisewasser dafür Sorge getragen werden, dass im Economizer keine Erwärmung über den Siedepunkt eintritt. Daraus gewinnt der Konstrukteur ein wichtiges Auslegungskriterium für die Aufteilung der Wärmetauscherfläche des Economizers in den ersten Teil 601 und den zweiten Teil 602.

[0040] Weiteres Leistungssteigerungspotential ist durch Wasser- oder Dampfeinspritzung in das Heissgas der Gasturbine gegeben. In Fig. 2 ist eine weitere bevorzugte Ausführungsform der erfundungsgemäßen Kombianlage dargestellt. Der Kessel 6 ist dabei als Einrohrkessel ausgeführt. Bei einem Einrohrkessel sind Frischdampf-Überhitzer und Verdampfer nicht so genau getrennt, wie bei dem in Fig. 1 dargestellten Trommellekessel. Der Fachmann wird dennoch zweifelsfrei die Position erkennen, an der die Zusatzfeuerung im Abhitzedampferzeuger anzutreten ist, um die Vorteile der Erfindung vollkommen auszunutzen. Mit Vorteil wird eine Stelle gewählt, stromab derer - in Strömungsrichtung des Gasturbinen-Abgases gesehen - in allen Betriebszuständen Arbeitmedium der Dampfturbine in flüssigem Aggregatzustand im Inneren der Kesselrohre vorliegt.

[0041] Bei der hier dargestellten Ausführungsform eröffnet sich weiters Potential zur Leistungssteigerung. Eine erste Anzapfstelle geeigneten Drucks an der Dampfturbine ist über eine Verbindungsleitung 28, in welcher sich ein Absperre- und Regelorgan 26 befindet, mit der ersten Brennkammer 102 der Gasturbine verbunden ist. Weiterhin führt eine Leitung 27 von einer Anzapfstelle niedrigeren Drucks über ein Absperre- und Regelorgan 25 zur zweiten Brennkammer 104 der Gasturbine. Durch Einbringung von Dampf in die Gasturbine kann insbesondere mehr Brennstoff 42, 43 mit hohem Kombi-Wirkungsgrad umgesetzt werden. Weiterhin erhöht sich der Massenstrom des expandierten Arbeitmediums 52 der Gasturbine, wodurch die Dampfproduktion nochmals erhöht wird. Weiterhin werden die Niederdruckstufen der Dampfturbine 4 entlastet.

[0042] Selbstverständlich kann Dampf an unterschiedlichen Stellen dem Wasser-Dampf-Kreislauf entnommen werden. So eignet sich Sattdampf, der unmittelbar stromab des Verdampfers 604 entnommen wurde, vorzüglich, wenn eine Dampfkühlung der Gasturbinenkomponenten zu realisieren ist. Diese Anzapfung des Wasser/Dampfkreislaufs kann weiterhin dann sinnvoll sein, wenn im Frischdampfüberhitzer 606 nicht die gesamte erzeugte Dampfmenge hinreichend hoch überhitzt werden kann. Die überschüssige Sattdampfmenge kann dann in der Gasturbine expandiert werden, und die Dampfeinspritzung entlastet den Frischdampf-Überhitzer und die gesamte Dampfturbine. Ebenso kann aber auch überhitzter Frischdampf zur Einspritzung in die Gasturbine Verwendung finden.

[0043] In Fig. 3 ist eine Schaltung der Kombianlage mit Zusatzfeuerung dargestellt, die eine besonders flexible Anpassung der Massenströme an das Schluckver-

mögen verschiedener Komponenten und die möglichen Enthalpieströme im Abhitzedampferzeuger ermöglicht. In einem ersten Betriebszustand, ohne Zusatzfeuerung, sind die Absperre- und Regelorgane 16, 26, 33 und 34 geschlossen, und die Absperre- und Regelorgane 15, 22, 23, 24 sind zumindest stark angedrosselt. Der grösste Anteil 71 des Speisewassers durchströmt beide Abschnitte 601 und 602 des Economizers, während ein kleinerer Anteil 72 in den Speisewasservorwärmern 11 und 12 so vorgewärmt wird, dass die Temperatur nahezu mit derjenigen der ersten Speisewassermenge 71 beim Austritt aus dem ersten Abschnitt des Economizers 601 identisch ist. Mittels des Regelorgans 15 wird der Anteil des vorgewärmten Speisewassers 72 so bemessen, dass die Temperatur des gesamten Speisewasserstroms beim Austritt aus dem zweiten Teil des Economizers 602 wenig unterhalb der Siedetemperatur liegt. Das erwärmte Speisewasser wird im Verdampfer 604 verdampft, im Frischdampf-Überhitzer 606 überhitzt, und der gesamte Frischdampf 75 wird schliesslich der Dampfturbine 4 zugeführt und vollständig entspannt, wobei nur kleine Anzapf-Massenströme 78, 79, 80 über die Absperre- und Regelorgane 21, 22 und 23 aus der Dampfturbine entnommen werden, um im Speisewasservorwärmer 10 das Speisewasser 77 soweit vorzuwärmen, dass sich an der Economizerberührung 601 kein Feuchtigkeitsniederschlag bildet, respektive wie oben beschrieben den Speisewasserstrom 72 in den Speisewasservorwärmern 11, 12 geeignet vorzuwärmen. Zur Leistungssteigerung wird der Zusatzfeuerung 605 eine Brennstoffmenge 44 zugeführt und verbrannt. In Folge steigen die Dampfproduktion, die Speisewassermenge, und die Frischdampfmenge. In Folge wird auch das Absperre- und Regelorgan 15 weiter geöffnet, um den vorgewärmten Speisewassermassenstrom 72 zu erhöhen. Um die grösse Speisewassermenge vorzuwärmen, müssen der Dampfturbine grösse Anzapfmaschenströme 79, 80 entnommen werden, was zu einer Entlastung der letzten Stufen der Dampfturbine um die entsprechende Dampfmenge führt. Bei einer Steigerung des Speisewassermassenstroms kann der Fall eintreten, dass ab einem bestimmten Massenstrom die Vorwärmung des Teilstroms 72 in den Vorwärmern 11 und 12 nicht mehr ausreicht, um am Economizeraustritt Wasser nahe der Siedetemperatur zu erhalten. In diesem Falle wird der Speisewasser-Teilstrom 72 wiederum in die Teilstrome 721 und 722 aufgeteilt. Diese Aufteilung wird primär durch das Absperre- und Regelorgan 16 gesteuert. Dessen Öffnung bestimmt den Teilstrom 722, der im Vorwärmer 13 nahezu auf Siedetemperatur erwärmt wird, und daher im Ausführungsbeispiel unmittelbar in die Kesseltrommel 603 eingespist wird. Bei einem Einrohrkessel kann der Teilstrom 722 dem restlichen Speisewassermassenstrom, 71 und 721, unmittelbar stromauf der Verdampferberührung 604 zugemischt werden. Bei weiter steigender Dampfproduktion können in einem nächsten Schritt die Dampfeinspritz-Regelventile 25 und 26 der

Gasturbine geöffnet werden, wobei die Drewegeventile 29, 30 so gestellt sind, dass über die Leitungen 27, 28 Dampf zugeführt wird, der als teilexpanderter Dampf an geeigneter Stelle der Dampfturbine entnommen wird, was zu einer weiteren Entlastung der Dampfturbinen-Niederdruckstufen führt. Durch diese Massnahme können die Brennstoffmengen 42 und 43, die in den Gasturbinenbrennkammern 102 und 104 verbrannt werden, erhöht werden, ohne die Eintrittstemperaturen in die Turbinen 103 und 105 zu erhöhen. In Folge steigen die Gasturbinenleistung und der Abgasmassenstrom 52 der Gasturbine. Mit einer weiteren Steigerung der Dampfmenge wäre es vorstellbar, dass auch das Schluckvermögen des Hochdruckteils der Dampfturbine ausgeschöpft wird. In diesem Fall wird das Absperr- und Regelorgan 34 geöffnet, und die Drewegeventile 29 und 30 werden umgeschaltet. Damit wird der Gasturbine nunmehr über die Leitung 32 Frischdampf ab dem Überhitzeraustritt zugeführt. Damit kann die Frischdampfproduktion selbst über das Schluckvermögen des Dampfturbinen-Hochdruckteils hinaus gesteigert werden. Bei einer weiter gesteigerten Brennstoffmenge 44, die der Zusatzfeuerung 605 zugeführt wird, reicht die im Überhitzer 606 zu übertragende Wärmemenge nicht mehr aus, um den gesamten erzeugten Dampf auf die geforderte Frischdampftemperatur zu überhitzen. In diesem Fall wird schliesslich das Absperr- und Regelorgan 34 geschlossen, und das Absperr- und Regelorgan 33 geöffnet. In die Gasturbinen-Brennkammern 102 und 104 wird Satt dampf aus der Leitung 31 eingespritzt, und bereits der Frischdampf-Überhitzer von dieser Dampfmenge entlastet. Dieses Ausführungsbeispiel zeigt, wie flexibel sich die erfindungsgemäss Schaltung einer Kombianlage gestalten lässt.

**[0044]** Die Leistungssteigerung der Gasturbine und die Möglichkeit die Brennstoffmengen 42 und 43 zu erhöhen, ergibt sich natürlich auch, wenn statt Dampf Wasser in die Brennkammern eingebracht wird. Auch in diesem Fall erhöht sich der Massenstrom des entspannten Arbeitsmediums 52 der Gasturbine und damit die Dampfproduktion im Abhitzekessel 6. Diese Leistungssteigerung geht allerdings in grösserer Masse zu Lasten der Wirtschaftlichkeit, da die Verdampfungswärme, die ja mit dem abgekühlten Abgas 53 verloren geht, erst durch zusätzlich zugeführten Brennstoff bereitgestellt werden muss, anstatt, wie es bei der Dampfeinspritzung der Fall ist, aus der Abgaswärme entnommen zu werden.

**[0045]** In den Figuren 4 und 5 schliesslich sind noch zwei Schaltungsvarianten mit einer Zwischenüberhitzung 607 dargestellt. Die Dampfturbine 4 ist dabei in einen Hochdruckteil 401 und einen Niederdruckteil 402 unterteilt. Eine teilentspannte Dampfmenge 82 aus dem Hochdruckteil ist jeweils in einen Zwischenüberhitzer 607 geführt, von wo zwischenüberhitzter Dampf 83 in den Niederdruckteil 402 der Dampfturbine strömt und dort vollständig expandiert wird. In Fig. 4 ist der Abhitzedampferzeuger 6 als Trommelkessel dargestellt, in

Fig. 5 als Einrohrkessel. Die Bauart des Abhitzedampferzeugers kann in den beiden Figuren beliebig gegeneinander ausgetauscht werden, ohne das Wesen der Erfindung im Geringsten zu berühren, ebenso wie die unterschiedliche Stelle der Einspeisung des vorgewärmten Speisewassers 72 in den beiden Beispielen - einmal in den Economizer und einmal in die Kesselbero hrung unmittelbar stromauf des Verdampfers - Auslegungsvarianten sind, die in den Beispielen nur zur Illustration unterschiedlicher Möglichkeiten so gewählt wurden. Hingegen ist die Anordnung der Zwischenüberhitzer in beiden Beispielen grundverschieden.

**[0046]** In Fig. 4 ist der Zwischenüberhitzer 607 parallel zum Frischdampf-Überhitzer 606 geführt. Diese Schaltung resultiert einerseits in einem bestmöglichen Anlagenwirkungsgrad im nominalen Vollastbetrieb, andererseits ist die Dampfmenge, die bei einer begrenzten innerhalb des Überhitzerabschnitts des Abhitzedampferzeugers nutzbaren Wärme auf die Auslegungstemperatur überhitzt werden kann, begrenzt. Aus dieser Begrenzung der Dampfproduktion resultiert eine geringere erzielbare Leistungssteigerung.

**[0047]** Hingegen ist der Zwischenüberhitzer 607 in Fig. 5 parallel zum Verdampfer 604 im Dampferzeuger angeordnet, dargestellt, dass die Zusatzfeuerung auch auf den Zwischenüberhitzer wirkt. Als Resultat wird der Dampf im Nominalbetrieb ohne Zusatzfeuerung nur gering zwischenüberhitzt, und der nominale Wirkungsgrad ist geringer als bei der in Fig. 4 dargestellten Schaltung. Da nunmehr aber die Zusatzfeuerung auf die Zwischenüberhitzerberührung wirkt, kann mehr Brennstoff sinnvoll zugefeuert werden. Die mit Zusatzfeuerung erhöhte Zwischenüberhitzungstemperatur gleicht zusätzlich Wirkungsgradeinbusen, die mit der Zusatzfeuerung auftreten, zumindest teilweise aus. Bei dieser Anordnung des Zwischenüberhitzers ist eine konstruktive Vorzugsvariante, die Berührung des Zwischenüberhitzers so anzutragen, dass die Verdampferberührung zwischen der Zusatzfeuerung und der Berührung des Zwischenüberhitzers liegt, und der Wärmeübergang zu dem zu überhitzenden Dampf rein konvektiv getrieben ist. Dadurch, dass nur nass betriebene Wärmetauscherrohre von der Strahlungswärme der Zusatzfeuerung beaufschlagt werden, ist eine wesentlich weniger kostenintensive Bauweise des Kessels möglich.

**[0048]** Anhand der Ausführungsbeispiele wird ein kleiner Ausschnitt aus dem breiten Spektrum der Bauformen beleuchtet, in denen die in den Ansprüchen gekennzeichnete Erfindung realisiert werden kann. Die Auslegung des Wasser/Dampf-Kreislaufs mit oder ohne Zwischenüberhitzung, die Anordnung des Zwischenüberhitzers im Abhitzedampferzeuger und vieles mehr werden von spezifischen Anforderungen an den Betrieb der Anlage, von Gegebenheiten wie dem Abgasmassenstrom und der Abgastemperatur der Gasturbine, und nicht zuletzt auch durch den Kostenrahmen bestimmt, wobei all die dargestellten Ausführungsformen problemangepasste Vorzugsvarianten der im Hauptan-

spruch gekennzeichneten Erfindung darstellen. Eben- sogenie wie die Darstellung der Gasturbine als Gastur- bine mit sequentieller Verbrennung, in einwelliger An- ordnung mit der Dampfturbine, darf einschränkend aus- gelegt werden, dass in dem Ausführungsbeispiel der Dampfturbinenprozess als Wasser-Dampf-Prozess be- schrieben ist. Es kann hier auch ein anderes für die Rea- lisierung des Zweiphasenprozesses geeignetes Ar- beitsmedium verwendet werden. Ebenso könnte es sich auch bei dem Gasturbinenprozess um einen geschlos- senen Prozess handeln.

[0049] In dieser Weise werden dem Durchschnitts- fachmann in Abhängigkeit von der spezifischen Aufga- be eine Vielzahl weiterer Schaltungs- und Anordnungs- varianten zur konkreten Ausführung des in den Ansprü- chen gekennzeichneten Erfindungsgegenstandes na- hegelegt, die darzustellen den Rahmen dieser Offenba- rung bei weitem sprengt.

#### Bezugszeichenliste

[0050]

1	Gasturbine	51	Ansaugluft der Gasturbine
2	Generator	52	entspanntes Arbeitsmedium der Gasturbine
3	Kupplung	53	abgekühltes Abgas
4	Dampfturbine	5	Speisewassermenge, Speisewasserleitung
6	Abhitzedampferzeuger	71	Speisewassermenge, Speisewasserleitung
7	Kondensator	72	Erwarmtes (Siede-)Wasser
8	Kondensat- und Speisepumpe	73	Sattdampf, Dampfleitung
9	Kondensat- und Speisepumpe	74	(überhitzter) Frischdampf, Dampfleitung
10	Speisewasservorwärmer	75	entspannter Dampf
11	Speisewasservorwärmer	76	Speisewasser, Hauptspeisewassermenge
12	Speisewasservorwärmer	77	Anzapfdampfmenge
13	Speisewasservorwärmer	78	Anzapfdampfmenge
14	Absperr- und Regelorgan	79	Anzapfdampfmenge
15	Absperr- und Regelorgan	80	Anzapfdampfmenge
16	Absperr- und Regelorgan	81	Anzapfdampfmenge
21	Absperr- und Regelorgan	15	Teilentspannter Dampf
22	Absperr- und Regelorgan	82	zwischenüberhitzter Teilentspannter Dampf
23	Absperr- und Regelorgan	83	Vordichtor
24	Absperr- und Regelorgan	101	erste Brennkammer
25	Absperr- und Regelorgan, Dampfeinspritz-Regel- ventil	102	erste Turbine
26	Absperr- und Regelorgan, Dampfeinspritz-Regel- ventil	20	zweite Brennkammer
27	Verbindungsleitung	104	zweite Turbine
28	Verbindungsleitung	105	Hochdruckteil der Dampfturbine
29	Dreiwegeventil	402	Niederdruckteil der Dampfturbine
30	Dreiwegeventil	601	erster Teil des Economizers
31	Verbindungsleitung	602	zweiter Teil des Economizers
32	Verbindungsleitung	603	Kesseltrommel
33	Absperr- und Regelorgan	604	Verdampfer, Verdampferberohrung
34	Absperr- und Regelorgan	605	Zusatzfeuerung
41	Brennstoff	606	Frischdampf-Überhitzer
42	erste Brennstoffmenge	30	Zwischenüberhitzer
43	zweite Brennstoffmenge	721	Speisewasser-Teilstrom
44	Brennstoffmenge für die Nachfeuerung	722	Speisewasser-Teilstrom
		35	<b>Patentansprüche</b>
		1.	Kombianlage, bestehend aus wenigstens einer Gasturbine (1), wenigstens einer Dampfturbine (4), und wenigstens einem Abhitzedampferzeuger (6), welcher Abhitzedampferzeuger wenigstens einen Verdampfer (604) und einen Frischdampfüberhitzer (606) beinhaltet, und welcher Abhitzedampferzeuger im Betrieb von einem entspannten Arbeitsmedium (52, 53) der Gasturbine und von einem Arbeitsmedium (71, 72, 73, 74, 75) der Dampfturbine im Gegenstrom durchströmt wird, dadurch gekenn- zeichnet, dass in dem Abhitzedampferzeuger eine Zusatzfeuerung (605) in Strömungsrichtung des entspannten Arbeitsmediums der Gasturbine stromab des Frischdampf-Überhitzers des Abhitzedampferzeugers angeordnet ist.
		2.	Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekenn- zeichnet, dass der Abhitzedampferzeuger als Ein- rohrkessel ausgeführt ist.
		3.	Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekenn- zeichnet, dass der Abhitzedampferzeuger als

Trommelkessel ausgeführt ist.

4. Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zusatzfeuerung zwischen dem Frischdampf-Überhitzer und einem Verdampfer (604) des Abhitzedampferzeugers angeordnet ist.
5. Kombianlage nach Anspruch 1, wobei in dem Abhitzedampferzeuger ein Economizer angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass im Wasser-Dampf-Kreislauf stromab der Speisepumpe (8,9) ein erster Speisewasservorwärmer (10) angeordnet ist, stromab dessen die Speisewasserleitung verzweigt ist, von welcher Verzweigung ausgehend eine erste Speisewasserleitung (71) zu dem am weitesten stromab der Strömung des entspannten Arbeitsmediums der Gasturbine gelegenen Teil des Economizers (601) führt, und wenigstens eine weitere Speisewasserleitung (72) über wenigstens einen weiteren Speisewasservorwärmer (11,12,13) zu einem weiter stromauf gelegenen Abschnitt (602) des Economizers, und/oder unmittelbar in eine Kesseltrommel (603) oder einen Verdampfer (604) geführt ist.
6. Kombianlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Speisewasservorwärmer (10,11, 12, 13) mit einer Entnahmestelle der Dampfturbine verbunden ist.
7. Kombianlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass jede Speisewasserleitung (71, 72) mit jeweils wenigstens einem Absperr- und Regelorgan (14, 15, 16) versehen ist.
8. Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Kreislauf des Arbeitsmedium der Dampfturbine stromab eines Kondensators (7) zwei Pumpen gleicher Leistung (8, 9) angeordnet sind, von denen jeweils eine zum Betrieb der Kombianlage ohne Zusatzfeuerung genügt.
9. Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Zwischenüberhitzer (607) für ein teilentspanntes Arbeitsmedium der Dampfturbine im Abhitzedampferzeuger angeordnet ist.
10. Kombianlage nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die zum Abhitzedampferzeuger gehörende Berohrung des Zwischenüberhitzers (607) und die zum Abhitzedampferzeuger gehörende Berohrung des Verdampfers (604) an identischer Position im Abhitzedampferzeuger angeordnet sind.
11. Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Welle einer Gasturbine (1) mit einem Generator (2) zur Stromerzeugung verbunden ist, und der selbe Generator über eine selbstätig

wirkende Kupplung (3) mit einer Welle einer Dampfturbine (4) verbunden ist.

12. Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Verbindungsleitung (27, 28) von einer Anzapfstelle der Dampfturbine in eine Brennkammer (102, 104) und/oder eine Turbine (103, 105) der Gasturbine führt, und dass diese Verbindungsleitung mit einem Absperr- und Regelorgan (25, 26) versehen ist.
13. Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Verbindungsleitung (31,32) vom Kessel (6) und/oder einer Dampfleitung (74,75,82,83) in eine Brennkammer (102, 104) und/oder eine Turbine (103, 105) der Gasturbine führt, und dass diese Verbindungsleitung mit einem Absperr- und Regelorgan (33,34) versehen ist.
14. Kombianlage nach den Ansprüchen 12 und 13, wobei Dampf sowohl von Anzapfstellen der Dampfturbine wie auch von Anzapfstellen am Kessel und/oder den Dampfleitungen der Gasturbine zuführbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass zur Umschaltung der Zufuhr von Dampf aus den verschiedenen Zweigen der Dampfversorgung Dreiegeventile (29,30) in den Verbindungsleitungen eingebaut sind.
15. Kombianlage nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass Dampf zur Kühlung thermisch hochbelasteter Gasturbinenkomponenten verwendet wird.
16. Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasturbine über wenigstens zwei bezüglich der Strömung des Arbeitsmediums in Reihe geschaltete Brennkammern (102, 104) verfügt, wobei zwischen jeweils zwei Brennkammern eine Turbine (103) angeordnet ist, und wobei eine letzte Turbine (105) stromab einer letzten Brennkammer angeordnet ist.
17. Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des entspannten Arbeitsmediums (52) der Gasturbine beim Vollastbetrieb der Gasturbine über 580°C liegt.
18. Verfahren zum Betrieb einer Kombianlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Betriebspunkt die Gasturbine in ihrem Vollastbestriebspunkt arbeitet, und den Abhitzekessel mit einem Nennmassenstrom von Abgas beaufschlägt, wobei der Wasser/Dampfmassenstrom derart bemessen ist, dass die Temperatur des Abgases beim Austritt aus dem Verdampfer (604) näherungsweise der Siedetemperatur des Speisewassers entspricht, und dass zur Erhöhung der Le-

stungsabgabe der Dampfturbine die Zusatzfeuerung in Betrieb genommen wird, welche unmittelbar auf den Verdampfer wirkt, dergestalt, dass die Dampfproduktion ansteigt.

5

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine Hauptspeisewassermenge (77) in zwei Teilströme (71, 72) aufgeteilt wird, dass ein erster Teilstrom (71) über eine erste Speisewasserleitung unmittelbar einem ersten Abschnitt (601) eines Economizers zugeführt wird, und dass wenigstens ein weiterer Teilstrom, welcher im Economizer oder in der Kesseltrommel oder dem Verdampfer des Abhitzedampferzeugers dem ersten Teilstrom zugemischt wird, in wenigstens einem Vorwärmern (11, 12, 13) soweit erwärmt wird, dass die Temperatur des gesamten Wassermassenstroms (73) beim Eintritt in den Verdampferbereich (603, 604) näherungsweise der Siedetemperatur des Speisewassers entspricht. .20

20. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass zur Vorwärmung des Speisewassers der Dampfturbine mindestens eine Dampfmenge (79, 80, 81) an mindestens einer Zwischenentnahmestelle entnommen wird. 25

21. Verfahren nach Anspruch 18, wobei Öl als Brennstoff (41) eingesetzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Speisewasserleitung abgesperrt wird, und, dass ein weiterer Teilstrom auf eine Temperatur vorgewärmt wird, die über der Taupunkttemperatur von Schwefelsäure liegt. 30

35

40

45

50

55

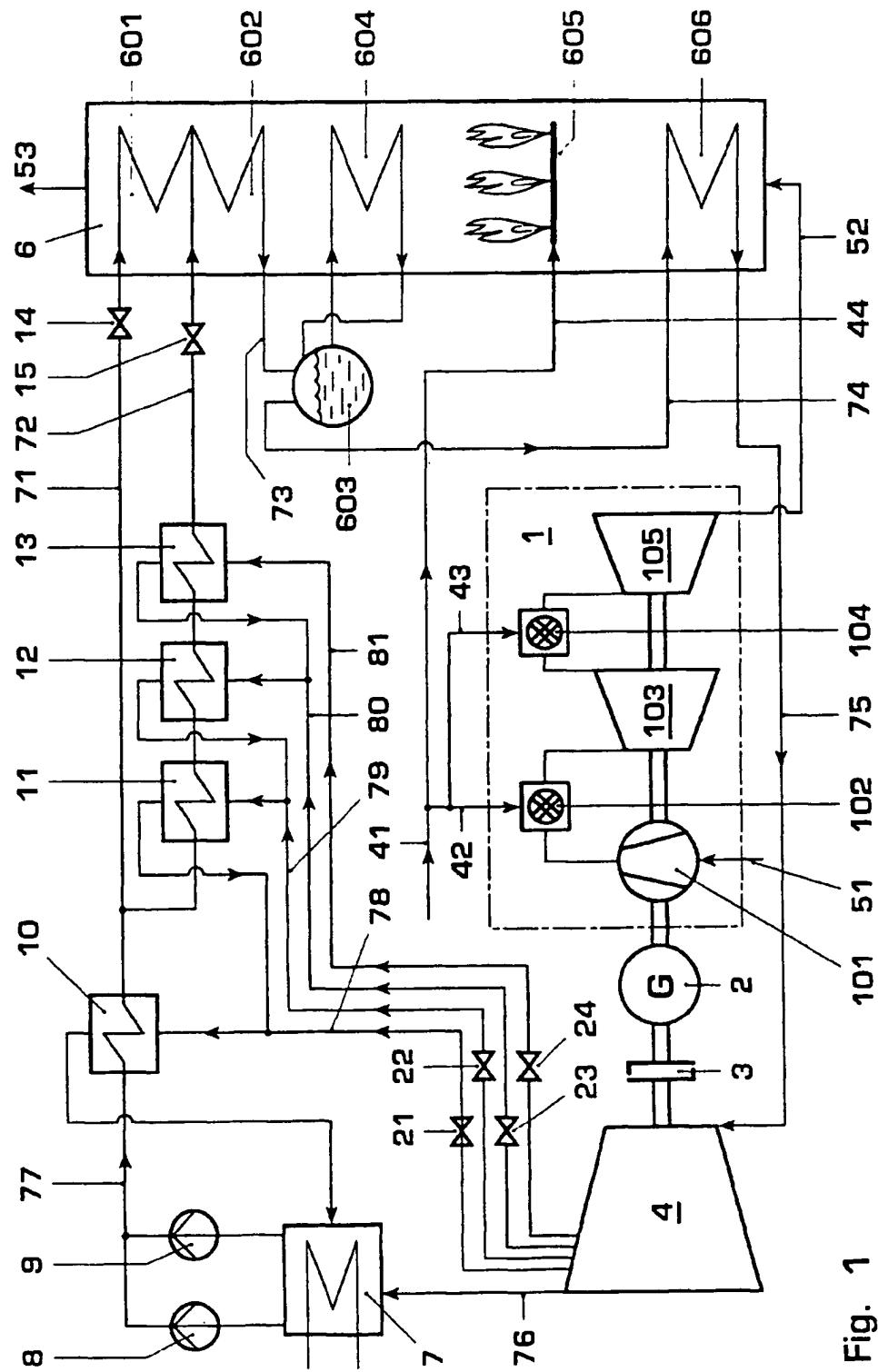


Fig. 1

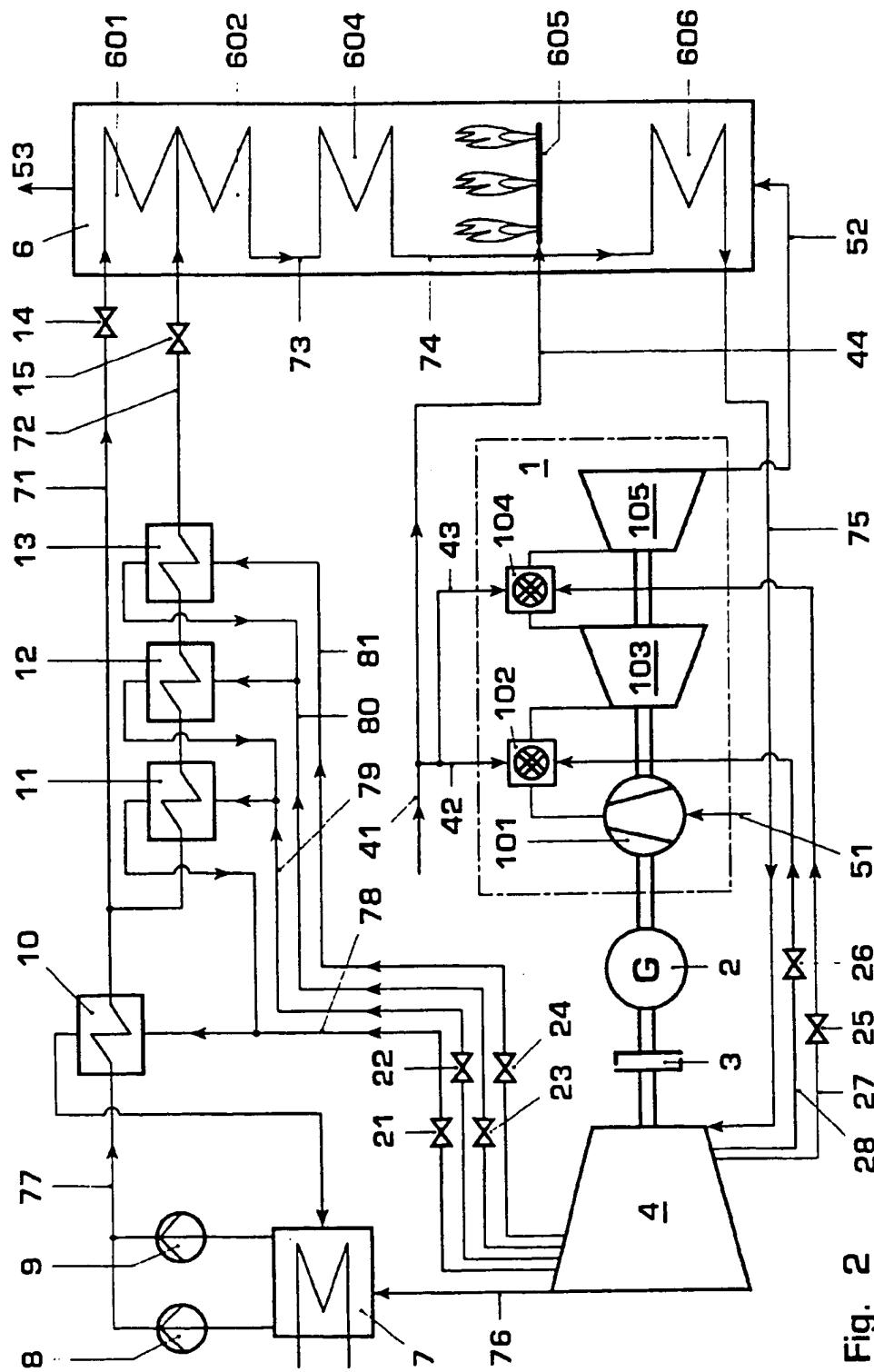


Fig. 2. - *28* 27 25 26 51 75 44 52

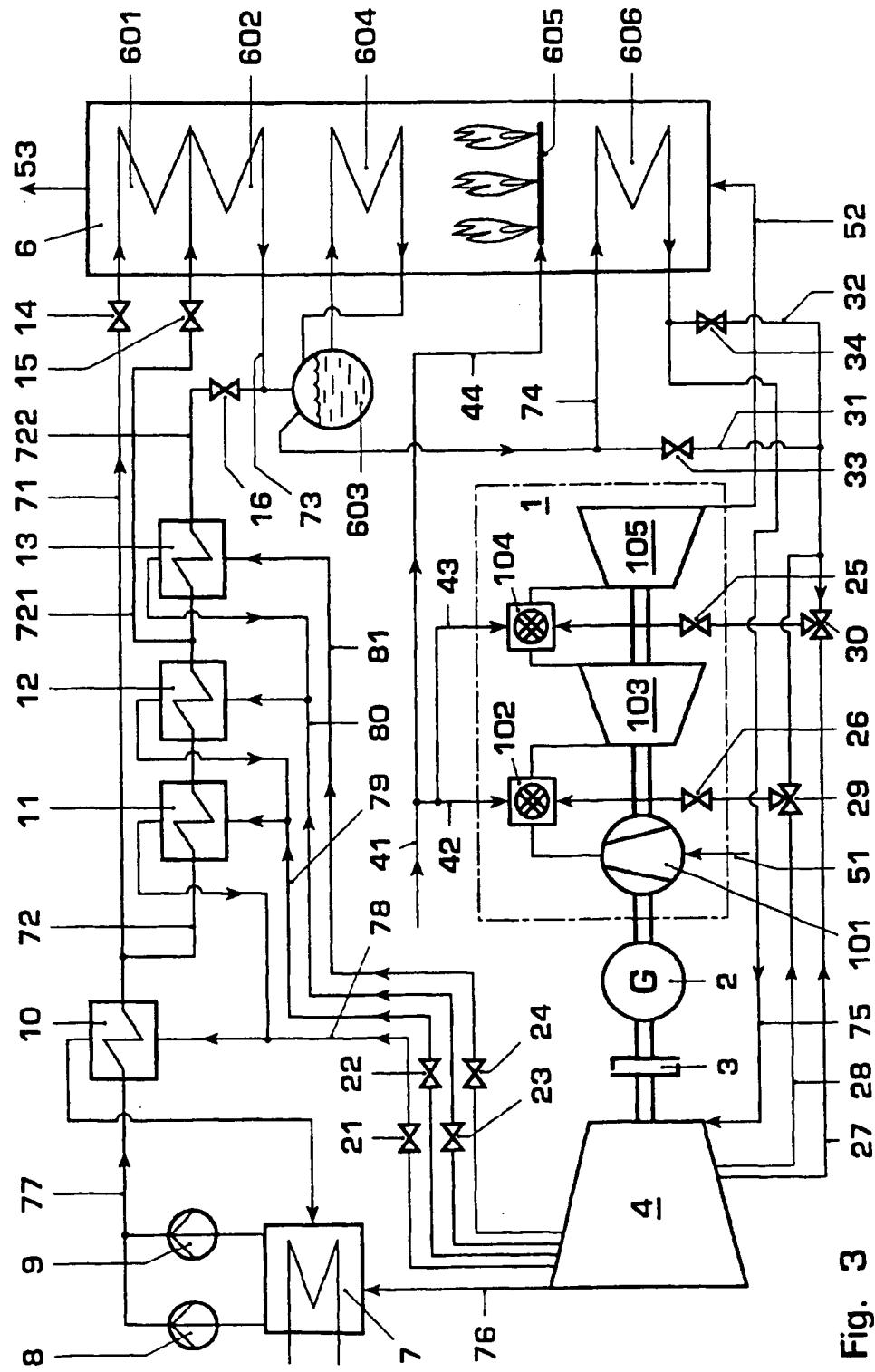


Fig. 3

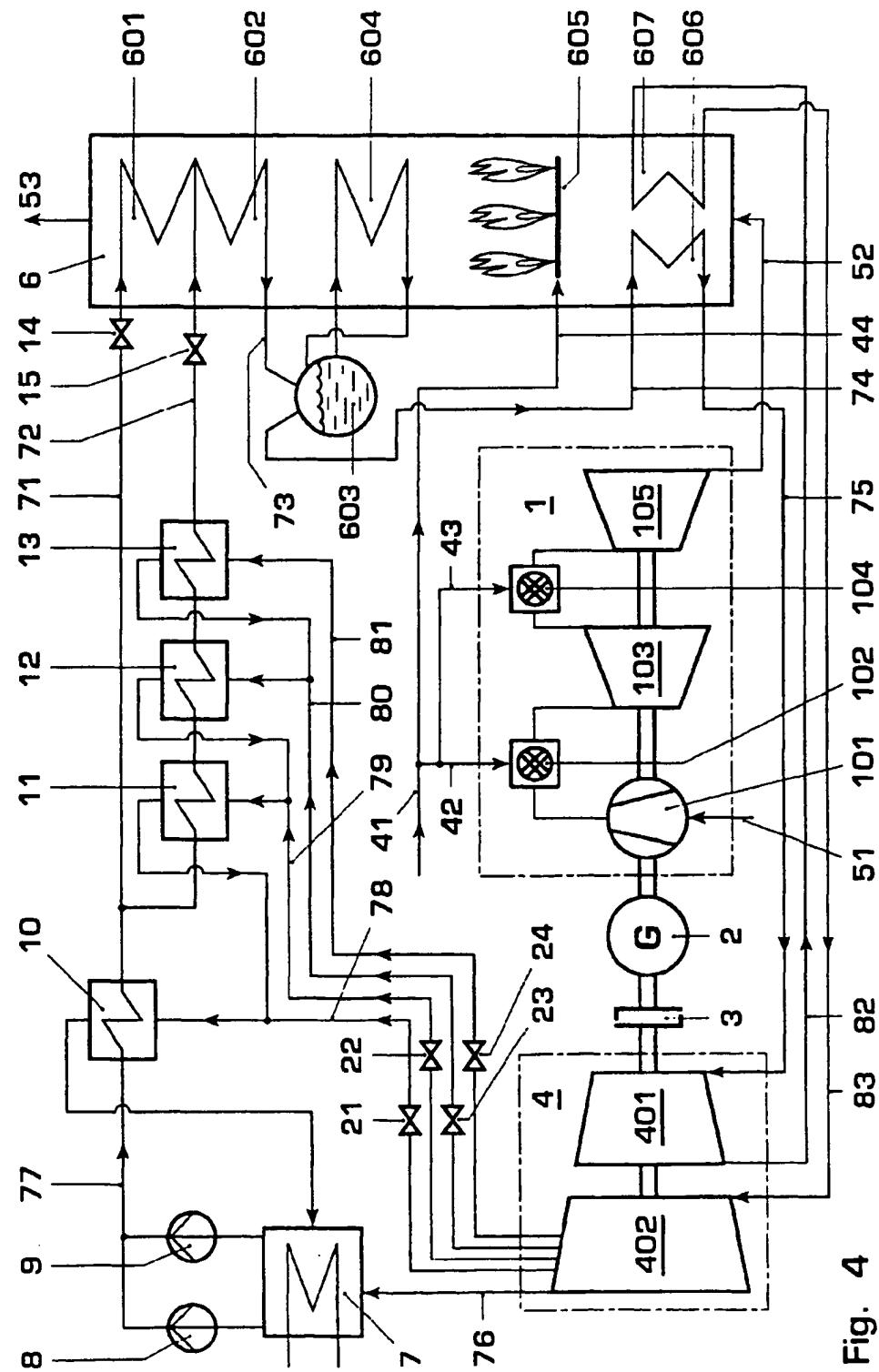


Fig. 4 83 82 51 101 102 104 75 74 44 52

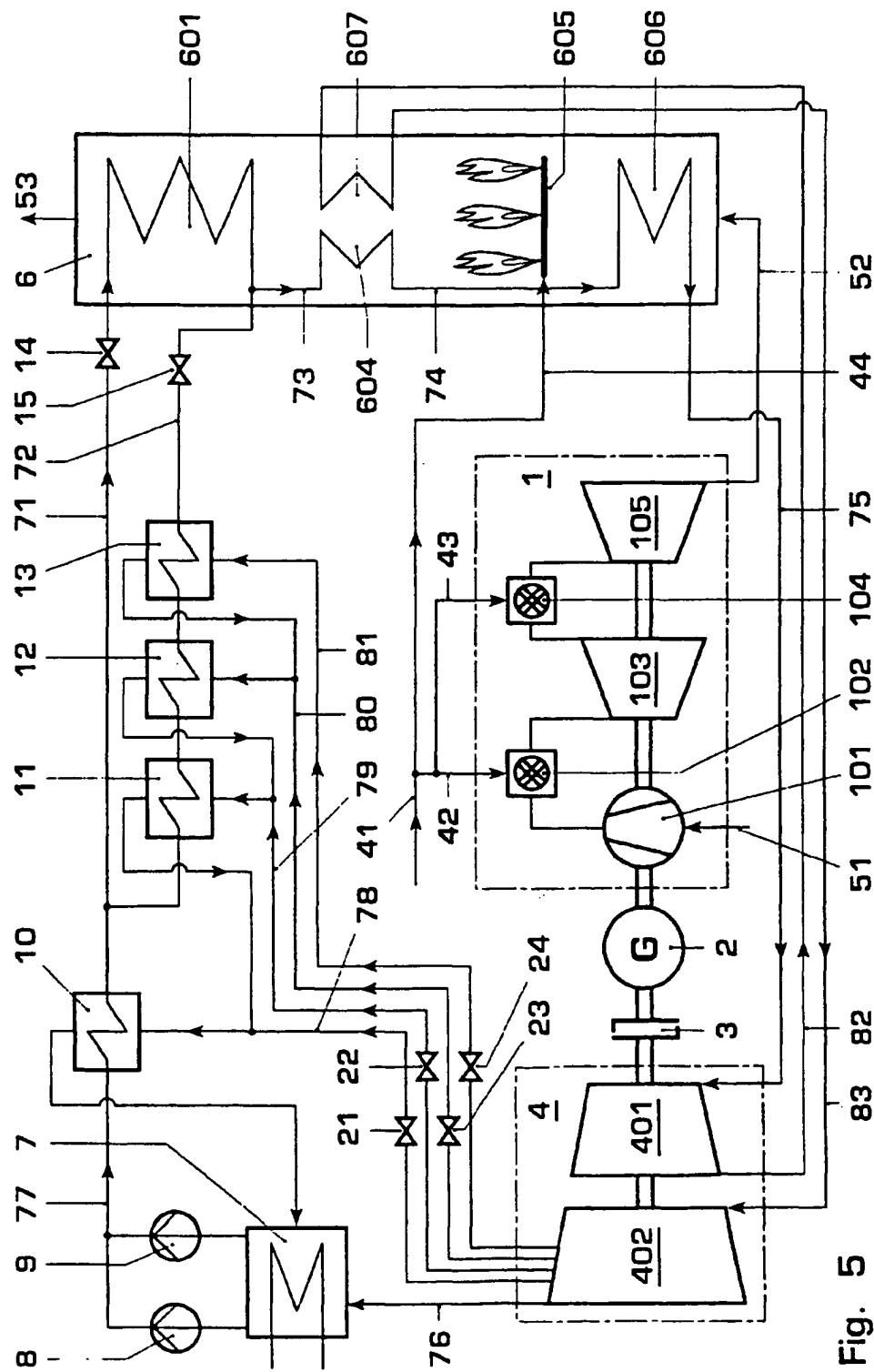


Fig. 5. - The same as Fig. 4, but for the case of a single electron.



Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 81 0389

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	DE 197 34 862 A (GERICKE) 18. Februar 1999 (1999-02-18) * Spalte 3, Absatz 2; Abbildungen *	1,3,4,9, 10,18	F01K23/10
X	GERICKE B: "KOMBI-ANLAGEN FUER INDUSTRIE UND KOMMUNEN. TEIL 2: ZUSATZBEFEUERTER EINDRUCKPROZESS MIT REKU UND ZUSATZBEFEUERTER MEHRDRUCKPROZESS MIT ZUE" VGB KRAFTWERKSTECHNIK, Bd. 77, Nr. 11, 1. November 1997 (1997-11-01), Seiten 912-919, XP000724054 ISSN: 0372-5715 * Seite 916, linke Spalte, Absatz 1; Abbildung 29 *	1,3,4,9, 10,18	
X	GB 2 277 965 A (BRITISH GAS) 16. November 1994 (1994-11-16) * Seite 5, Zeile 14 - Seite 8, Zeile 16; Abbildungen * * Seite 12, Absatz 2 - Seite 14, Zeile 15; Abbildungen *	1,2,4,9	
X	FR 2 257 786 A (SULZER) 8. August 1975 (1975-08-08) * Seite 1, letzte Zeile - Seite 4, Absatz 1; Abbildung 1 *	1,2,4	
A	DE 20 23 748 A (STEIN) 18. Februar 1971 (1971-02-18) * Seite 3, letzter Absatz - Seite 5, Zeile 1; Abbildung 1 *	5-7,19, 20	
A	EP 0 582 898 A (SIEMENS) 16. Februar 1994 (1994-02-16) * Abbildung 1 *	8,11	
		-/-	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Rechercheur:	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	1. Oktober 1999	Van Gheel, J	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze		
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		
A : technologischer Hintergrund	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument		
O : nichttechnische Offenbarung	L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument		
P : wissenschaftl. Literatur	S : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument		



Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 81 0389

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrift Anspruch	
A	DE 196 15 911 A (ASEA BROWN BOVERI) 23. Oktober 1997 (1997-10-23) * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	11,12,16	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.7)
A	EP 0 674 099 A (ABB) 27. September 1995 (1995-09-27) * Seite 4, Absatz 2 – Absatz 3; Abbildung 3 *	12-16	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>DEN HAAG</b>		Abgeschlußdatum der Recherche <b>1. Oktober 1999</b>	Prüfer <b>Van Gheel, J</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichttechnische Offenbarung P : Zwischenliteratur		1 : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

D 10000 1500 00 00 (PC000)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 81 0389

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Orientierung und erfolgen ohne Gewähr.

01-10-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19734862	A	18-02-1999	KEINE	
GB 2277965	A	16-11-1994	AU 674751 B AU 6685894 A EP 0698177 A WO 9427034 A	09-01-1997 12-12-1994 28-02-1996 24-11-1994
FR 2257786	A	08-08-1975	CH 573044 A BE 824332 A CA 1012424 A GB 1448652 A JP 50101746 A NL 7401460 A, B, SE 393433 B SE 7500413 A US 3992876 A	27-02-1976 14-07-1975 21-06-1977 08-09-1976 12-08-1975 17-07-1975 09-05-1977 16-07-1975 23-11-1976
DE 2023748	A	18-02-1971	FR 2043957 A US 3667217 A	19-02-1971 06-06-1972
EP 582898	A	16-02-1994	CN 1086875 A JP 6221113 A US 5369950 A	18-05-1994 09-08-1994 06-12-1994
DE 19615911	A	23-10-1997	CN 1165238 A EP 0808994 A JP 10047017 A US 5884470 A	19-11-1997 26-11-1997 17-02-1998 23-03-1999
EP 674099	A	27-09-1995	DE 4409567 A CN 1112985 A JP 7259510 A US 5613356 A	28-09-1995 06-12-1995 09-10-1995 25-03-1997

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr. 12/82